

الباب السادس

تأثير الإجهاد الجفافى على نمو ومحصول حاصلات الحقل

يتأثر نمو ومحصول حاصلات الحقل المختلفة بالتعرض لإجهاد الجفاف حيث تلعب عملية إضافة الماء بواسطة الري دورًا هامًا في نمو وإنتاج الحاصلات الزراعية على المستوى العالمى إذ يساهم ماء الري بنسبة ٤٠% من إنتاج الطعام والسلع الزراعية المنتجة من ١٧% من الأراضي الزراعية. وقد تضاعف الإنتاج في العقود الماضية الحديثة بتزايد مساهمة مياه الري في النمو والإنتاجية مقارنة بالخمسين عامًا الماضية. ويتم سحب ٧٠% من مياه الأنهار الموجودة على سطح الكرة الأرضية لاستعمالها في الزراعة وقد تزيد عن ٨٠% بالبلدان النامية وتصل نسبة المياه المستغلة في الزراعة بجمهورية مصر العربية من مجموع مواردها المائية ٨٠,٣%. ومن المتوقع زيادة المياه المستخدمة في العالم للري لتوفير الاحتياجات المتزايدة لإنتاج الطعام بالأعوام القادمة مما سيعرض البشرية لمعاناة قاسية نتيجة لنقص الموارد المائية واستمرار التنافس الحاد على المياه النظيفة. ورغمما عن توافر المياه على مستوى العالم إلا أن هناك نقص حاد ومستمر بالمناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة للاستغلال الشديد لمصادر المياه. وبذلك أصبح الاعتماد على المياه العذبة يمثل موقفًا حرجًا يهدد الإنتاج الزراعى مما سيؤدى إلى نقص الغذاء وانتشار الفقر.

من هنا كان التحدى الذى يقابل المشتغلين بالزراعة من أجل العمل على زيادة إنتاج الغذاء بأقل قدر من المياه وعلى الأخص بمناطق الموارد المائية المحدودة، بحيث يتم تقليص نسبة استخدام مياه الري في الزراعة إلى ٣٠% دون الإخلال بكميات الغذاء المنتج والاعتماد على الأمطار بحلول عام ٢٠١٥.

لذلك تبرز أهمية معرفة أثر نقص المياه على نمو وإنتاجية محاصيل الحقل وكيفية مواجهة ذلك حيث يتأثر الإنتاج سلباً للمحاصيل المختلفة عند التعرض للإجهاد الرطوبى لذلك كان من الضروري بمكان استنباط محاصيل حقلية تستطيع أن تتواءم أو تقاوم أو تهرب من الجفاف ويتوقف ذلك على الصنف أو الأصل الوراثى وفترة نمو النبات التى تتعرض لنقص الماء.

إن العلاقة بين إجهاد الجفاف والنمو علاقة معقدة إذ أن النمو محصلة لجميع العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات مثل التمثيل الضوئى والتنفس وامتصاص العناصر الغذائية وغير ذلك وهذه كلها عمليات تتأثر كثيراً بإجهاد الجفاف. ولما كان وزن النسيج النباتى أو العضو أو النبات جميعه محصلة لعدد الخلايا ومتوسط وزن الخلية الواحدة لذلك فهناك أهمية فى فهم تأثير الإجهاد الجفافى على النمو. إن إنقسام الخلايا حساس للإجهاد الجفافى إلا أنه قد لوحظ أن خلايا أوراق النباتات التى تعرضت لفترات من الإجهاد يتماثل مع عدد الخلايا بأوراق النباتات التى لم تتعرض للإجهاد مما يشير للاحتفاظ بالكفاءة على استئناف النشاط بعد الشفاء من الإجهاد، وقد يستمر إنقسام الخلايا أثناء الإجهاد ولو كان بمعدل منخفض. ويسمح هذا بالاستئناف السريع النسبى للنمو عند إزالة الإجهاد. ويؤثر الإجهاد حتى المستويات البسيطة منه على حجم الخلية. وتأثر الحجم أول مظاهر نقص الماء ويعتبر السبب الرئيسى لتقزم النباتات تحت ظروف الحقل بالتعرض لإجهاد الجفاف. ويؤدى ذلك إلى نقص المساحة الكلية لأوراق النبات وبالتالي نقص سطح التمثيل الضوئى مما يعمل على قلة المواد الممثلة بالنبات وحيث تحدث جميع العمليات الحيوية وتنتقل المواد الممثلة والعناصر الغذائية والهرمونات وغيرها فى وسط مائى. كذلك فإن نمشة وتخصص أصول الأنسجة الخضرية والتناسلية بالمرستيم القمى وزيادة أحجام الخلايا حساسة لإجهاد الجفاف. كما أن نقص الماء يؤثر على امتصاص العناصر وتمثيل البروتين والكربوهيدرات بنقص النشاط التكوينى للخلايا من الأنسجة مما يؤثر بالسلب على نمو النباتات.

ويمثل تأثير نقص الرطوبة على الأنسجة البالغة تأثير الشخوخة، فيؤدى الإجهاد إلى هجرة الفوسفور من الأوراق المسنة إلى السوق والنسيج المرستيمى ويعقب ذلك

حركة النيتروجين مما يشير إلى تقليل البروتين وهدم الوظيفة العادية للخلية. وتميل الثغور إلى أن تظل مغلقة وتصبح غير مؤدية لوظيفتها.

يؤثر الإجهاد الجفافى على معدل استطالة الجذور وقد تكف استطالته قبل المجموع الهوائى فى بعض الأحيان. وينقص سرعة استطالة الجذر تزيد سرعة السوبرة كما نقل المنطقة غير المسوبرة حتى تزال فى الجذور التى لا تستطيل، وهذه ظاهرة عادية تحت ظروف الإجهاد الشديد وتقلل السطح الفعال للجذور.

وينبغى مراعاة تأثير نقص الماء على المحاصيل فمثلا فى حالة محاصيل الحبوب يمكن معرفة التأثير على كمية المحصول فى أطوار معينة وهى طور التهيئة للإزهار وتكوين النورة حيث يتحدد عدد الحبوب وفى طور الإزهار والإخصاب حيث يثبت عدد الحبوب بينما فى طور إمتلاء الحبوب يزداد وزن الحبوب.

ويمكن الحصول على أكبر محصول بالمحافظة على مستوى مائى وافر بالاصلات النجيلية أثناء نموها، ويؤدى التعرض لإجهاد رطوبى خفيف أو لمدة قصيرة لنقص المحصول إلا أنه يمكن تعويض هذا التأثير بالنمو اللاحق تحت الظروف الملائمة. وفى هذا الصدد يبدو أن مرحلة تكوين النورات هى أكثر المراحل القابلة للتكيف وهو حقيقى أكثر فى بعض الحاصلات عن البعض الآخر ويبدو أن مرحلة تفتح الإزهار هى أقل المراحل من حيث القابلية للتكيف.

ويقلل الإجهاد الجفافى حتى البسيط منه سرعة ظهور أصول الأزهار. ويلاحظ أن عدد الأصول أكثر استجابة للإجهاد الجفافى عن اكتمال الأصول فى غالبية حاصلات الحبوب. وإذا تعرضت النباتات لإجهاد شديد أو لفترة طويلة تنقص السنبيلات بدرجة كبيرة. وفى طور التهيئة للإزهار يؤثر الإجهاد الجفافى على العدد الفعال للحبوب بالنورة. وفى مرحلة تكوين أصول السنبيلات إلى مرحلة الإخصاب تكون حساسة. وهكذا يعمل إجهاد الجفاف على نقص عدد الحبوب بالنورة أو يؤدى إلى نقص عدد السنبيلات الخصبة. يؤثر تعريض نباتات القمح للإجهاد الجفافى لفترة تمتد لنحو ٣ أسابيع قبل وبعد طرد السنابل على كمية المحصول. ويكون الانخفاض أكبر عند التعرض قبل طرد السنابل للتأثيرات الكبيرة على عدد الحبوب المتكونة بالسنبيلة (أنظر الباب التاسع الخاص بإرواء المحاصيل).

يؤدى تعريض النباتات للإجهاد الجفافى أثناء تفتح الأزهار إلى نقص الإخصاب وعقد الحبوب فى معظم النجيليات ويبدو أن الذرة هو أكثر النباتات حساسية فى هذا الطور. ويرجع نقص الإخصاب إلى جفاف حبوب اللقاح وإلى إعاقة إنبات حبوب اللقاح أو أنبوبة اللقاح من الميسم إلى البويضات. يتأثر متوسط وزن الحبة بظروف قبل الإزهار وظروف بعد الإزهار ويلاحظ أن ظروف بعد الإزهار أكثر أهمية فى غالبية الأحيان. من هنا يتضح تأثير كمية المحصول بالإجهاد الجفافى كما يؤثر على جودته.

العوامل المتحكم فى التوازن الداخلى للماء بالمحاصيل:

إن التوازن الداخلى ودرجة انتفاخ خلايا النبات تتوقف على المعدل النسبى لامتنصاص وفقد الماء والذي يتأثر بعوامل معقدة من المناخ والأرض والنبات فالجهد المائى للورقة يقترب من الجهد المائى للأرض عند بقاء معدل التفتح حيث ينقص الجهد المائى للورقة بنقص الجهد المائى للأرض فى حالة جفاف الأرض أو احتواءها على الأملاح. تتم حركة الماء استجابة للتدرج فى الجهد فعندما تكون الجذور فى حالة إتران مع جهد ماء الأرض ويكون الأخير قريب من الصفر يصل مستوى انتفاخ الورقة أو النبات للجهد المائى المطلوب. يحدث ذلك عند انخفاض متطلبات عملية التبخير كما يحدث أثناء الليل أو فى الصباح الباكر قبل سطوع الشمس. وعند زيادة معدل التفتح مواكبا لزيادة التبخير أثناء النهار ينقص ضغط انتفاخ الأوراق العليا ويتدرج الجهد المائى خلال النبات من سطح تبخير الأوراق حتى سطح امتصاص الجذور. وعادة ما يزيد معدل فقد الماء عن معدل امتصاصه مما يسبب نقص للماء داخل النبات، والتي تؤثر بدورها على العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات والمؤثرة مباشرة على النمو والمحصول.

إن الجهد المائى للخلية يعادل نقص ضغط الانتشار وعادة ما يكون الجهد المائى للخلية ذو قيمة سالبة وعندما يساوى مقداره صفراً تكون الخلية فى كامل انتفاخها، وعند وجود ميل لنقص ضغط انتشار الخلية بين الأرض والنبات لصالح النبات يقوم النبات بامتصاص الماء من الأرض كما هو واضح من الجدول السابق رقم ٥-١

بالباب الخامس) حيث يقل الجهد المائي للجو عن مثيله للورقة والذي بدوره يقل عن الجهد المائي للأرض مما يعمل على تحريك كتلة الماء من الأرض للنبات ومنه إلى الجو.

لقد وجد أن المحاصيل ثلاثية ورباعية الكربون المروية جيدا تستهلك قدرا كبيرا من الماء في الأوقات الحارة المشمسة يتراوح ما بين ٥٠-٨٠ طن للهكتار يوميا لنتج المحصول الأقتصادي مما أثار حفيظة الباحثين لدراسة ما يحدث لهذه الكميات الكبيرة من المياه التي تمتصها الجذور وذلك بتقييم كميات المياه المستخدمة في العمليات الفسيولوجية المختلفة الدائرة بالنبات لكل وحدة من الكربوهيدرات الناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (جدول ٦-١).

جدول (٦-١): كميات المياه المستخدمة للعمليات المختلفة الدائرة بالنبات لوحدة واحدة من الكربوهيدرات ناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (عدد طن مياه/ طن من ك بدأ)

العملية	عدد طن مياه/ طن من ك بدأ
البناء	٠,٦
تخزين داخل الخلية	٤
نقل من الأوراق	
نباتات ثلاثية الكربون	أكبر من ٤٠٠
نباتات رباعية الكربون	أكبر من ٢٠٠
نباتات كراسيلاسيا	أكبر من ٥٠

حيث يتضح أن معظم الماء الممتص بجذور النباتات قد أستهلك في عملية النقل بالأوراق وهذا يعني أن حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوي يتم التحكم فيها بواسطة قمة النباتات.

الانجاهات المستخدمة في الحد من المياه المستعملة في الزراعة:

يوجد إتجاه متنامي في وقتنا المعاصر يعتمد على تحسين إنتاجية المياه من خلال تقليل ماء الري وعدد الريات حتى يتم توفير مياه للمحصول نقل عن الحد الأمثل يؤدي إلى تعرضه إلى إجهاد مائي معتدل mild يسمح بالحصول على محصول يقل قليلا عن

المحصول الأمثل ويتميز بجذوى اقتصادية مرتفعة بالنسبة للجذوى الاقتصادية لوحدة الماء لمحصوله النامى تحت وفرة من المياه مما يتطلب دراية بمعرفة استجابة المحصول للموئمة للجفاف وكيف يختلف ذلك تبعاً لاختلاف الأنواع، الأصناف ومرحلة النمو. ويتوقف محصول النبات على الصفات المورفولوجية أو الفسيولوجية أو كليهما ومن ذلك يتطلب تعديل العمليات الزراعية بما يتواءم مع نقص ماء الري مثل إنقاص عدد النباتات بوحدة المساحة، تقليل إضافة الأسمدة، تبني مواعيد زراعة مرنة واختيار أصناف قصيرة العمر على أن يكون الهدف رفع كفاءة استعمال الماء أى محاولة رفع كمية المحصول المنتج من وحدة الحجم من الماء بتعرض النبات لنقص ماء الري أثناء فترة معينة من النمو أو خلال فترة نموه بأكملها دون حدوث نقص معنوى للمحصول مع تحقيق جذوى اقتصادية للمنطقة أو/و الدولة.

لقد درس الكثيرون الجذوى الاقتصادية لإنقاص ماء الري دون التأثير على المحصول معنويًا لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى، فقد وجد (Stegman 1982) أن محصول الذرة لم يتأثر معنويًا بزراعته تحت الري بالرثب بإمداده بالماء بعد استنفاد 30 - 40% من الماء القابل للاستفادة مقارنة بزراعته تحت الري بالتنقيط مع الحفاظ على الرطوبة الأرضية عند مستوى جهد مائى يقرب من الصفر بمنطقة الجذور. وذكر (Kang et al 2000) أن تنظيم نقص ماء الري في فترات معينة أثناء نمو الذرة أدى إلى توفير الماء مع الحفاظ على كمية المحصول. وأضاف (Stegman et al 1990) أن تعرض فول الصويا لفترة إجهاد رطوبى قصيرة أثناء الإزهار المبكر أدت إلى تساقط الأزهار والقرون إلا أن ذلك أمكن تعويضه بواسطة النبات بمجرد زوال الإجهاد الرطوبى حيث زاد عقد القرون على العقد العليا. وأوضح كل من (Speck et al 1987) and (Eck 1983) (Korte et al 1983) (1989) أن فول الصويا حساس لإضافة الماء لذلك ينبغي الحذر عند ريه. ولقد أوضح (Thomas et al 1976) استطاعة القطن الحفاظ على الجهد المائى المنخفض والتنظيم الأسموزى لضغط انتفاخ الورقة عند التعرض لإجهاد مائى ضعيف أثناء فترة النمو الخضري مما يؤدي إلى زيادة تحمل الجفاف إذا تعرض للإجهاد الرطوبى بعد ذلك. وسلك كل من بنجر السكر (Oylukan, 1973) (Winter, 1980) ودوار الشمس (Jana et al, 1982; Rawson and Turner 1983; Karaata, 1991) والقمح (Musick and Dusck, 1980) نفس الاتجاه. ويوضح جدول (٦-٢) حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء.

جدول (٦-١): حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء

درجة الحساسية	درجة الحساسية			المحاصيل
	منخفض	منخفض-متوسط	متوسط -عالي	عالي
	الكسافا، القطن، الدخن، بسملة الطيبور، الذرة الرفيعة	المرسيم الحجازي، الفلو السوداني، فلو الصويا، بنجر السكر، دوار الشمس، القمح	الفلو، الذرة الشامية	الأرز، قصب السكر، بطاطس

وعلى ذلك يتطلب نقص الموارد المائية على مستوى المنطقة تبنى الحفاظ على معظمة إنتاج المحاصيل بها (Stegman et al,1990) بالسماح بنقص المحصول نقصا غير إقتصادي بزراعته تحت ظروف نقص ماء الري لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى بما يتم توفيره من المياه بحيث يصبح العائد الإقتصادي مجزيا من المنطقة. ويطلق على هذه الطريقة عدة مصطلحات جديدة لجدولة الري مثل تنظيم نقص ماء الري، الخطة الإستباقية لنقص معدل النتح بخر، نقص ماء الري (English et al,1990).

إدارة نقص ماء الري

تختلف ممارسة هذه الطريقة عن الطريقة التقليدية لإمداد المحصول بالماء حيث يلزم التعرف على نقص النتح المسموح به والذي لا يؤثر معنويا على كمية المحصول اقتصاديا، مع الأخذ في الاعتبار كفاءة استعمال الماء بإنقاص الري بحيث يكون نقص المحصول غير معنوي وغير إقتصادي. بمعنى أن يكون الضرر الناتج من نقص المحصول أقل بالمقارنة بالفوائد التي تعود من توفير الماء لري محاصيل أخرى. وقبل تطبيق هذه الطريقة ينبغي التعرف على استجابة المحصول للإجهاد الجفافى إما أثناء فترات معينة من النمو أو طول فترة نموه (Kirda and Kanber, 1999)، كذلك من المهم التعرف على كفاءة احتفاظ الأرض بالماء حيث يكون تأثير هذه الطريقة عكسيا بالأراضي الخفيفة عن الأراضي الثقيلة.

ويوضح جدول (٦-٣) الفترات الأكثر حساسية لنقص الماء لبعض المحاصيل.

جدول (٦-٣): الفترات الأكثر حساسية لنقص الماء لبعض المحاصيل

المحصول	الفترة الحساسة	لمحصول	الفترة الحساسة
البرسيم الحجازي للعلف الأخضر	بعد الحش مباشرة	لقصب	النمو الخضري (تكوين الأنسطة واستطالة الساق)
البرسيم الحجازي لإنتاج البذور	الإزهار	دوار الشمس	الإزهار أكثر من تكوين المحصول
فول الحقل	الإزهار واستلاء القرون	الذرة	فترة النمو السريع
القطن	الإزهار وتكوين اللوز	القمح	الإزهار أكثر من تكوين المحصول
الفول السوداني	الإزهار وتكوين القرون	الذرة	الإزهار واستلاء الحبوب
الأرز	إزهار وتكوين الذاتيات	الذرة الرفيعة	إزهار وتكوين المحصول
فول الصويا	الإزهار وتكوين المحصول	بنجر السكر	شهر بعد الإنبات

جدولة نقص ماء الري

أجريت دراسة بواسطة Kirda et al (1999a) على عدة محاصيل عن جدولة ماء الري تحت ظروف نقص الماء بإقامة تجارب حقلية لمدة أربع سنوات تضمنت محاصيل القطن، القمح، بنجر السكر، فول الصويا، القصب، البطاطس والذرة وأوضحت نتائجها ملاتمة بيانات استجابة المحصول لنقص ماء الري لمعادلة الخط المستقيم التي استخدمها Stewart et al (1977) لتقدير معامل استجابة محصول النبات (معادلة ١)

$$1 - \frac{Y_m}{Y_m} = k_p \times \left(1 - \frac{ET_m}{ET_m} \right) \quad (1)$$

حيث أن:

Y_m = المحصول المتوقع النامي تحت نقص ماء الري (نقص معدل النتج بخر)

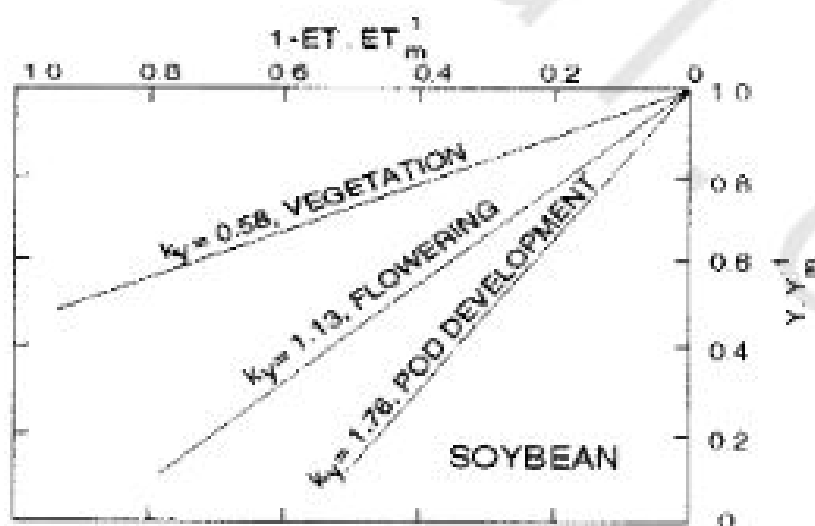
Y_m = المحصول النامي تحت وفرة ماء الري

ET_m = معدل النتج بخر الحقيقي (المنخفض)

ET_m = معدل النتج بخر الأكبر (الوفير)

K_p = معامل استجابة المحصول

ويختلف معامل استجابة المحصول تبعاً للنوع النباتي، الصنف، طريقة الري، الإدارة ومرحلة النمو التي تعرضت لنقص مياه الري. وتعتبر قيمة معامل استجابة المحصول على التحمل للإجهاد الجفافى، فإذا كانت أكبر من الوحدة دل ذلك على أن النقص النسبى للمحصول المتوقع أكبر من النقص النسبى لخفض النتج بخر أو إن شئت قل حدث نقص إقتصادى فى المحصول بنقص ماء الري. والعكس صحيح حيث يدل معامل استجابة المحصول الأقل من الوحدة على أن النقص النسبى للمحصول المتوقع أقل من النقص النسبى لخفض النتج بخر أو أن النقص فى المحصول غير إقتصادى بخفض ماء الري. وقد أوضح Kirda et al (1999a) العلاقة النسبية بين استجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتج بخر بثلاث مراحل من النمو (شكل ٦-١).



شكل (٦-١): العلاقة النسبية بين استجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتج بخر بثلاث مراحل من النمو

حيث يلاحظ أنه بالتعرض لنقص الماء أثناء مرحلة النمو الخضرى ومرحلة الإزهار ومرحلة تكوين القرون يكون معامل استجابة المحصول فى كل مرحلة ٠,٥٨، ١,١٣، ١,٧٦ على الترتيب. وبذلك يتضح أن التعرض لنقص ماء الرى أثناء مرحلة النمو الخضرى لا يؤثر على محصول فول الصويا (معامل استجابة المحصول أقل من الوحدة) بقدر التعرض له أثناء الإزهار أو تكوين القرون (معامل استجابة المحصول أكبر من الوحدة) والمرحلة الأخيرة أكثرهم ضرراً.

ويوضح جدول (٦-٤) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة عندما تكون قيمته أقل من الوحدة مما يعنى قبول ممارسة البية نقص ماء الرى وجدواها الاقتصادية بالتعرض خلال حياته وأثناء فترات محددة منها لنقص الرطوبة. كما يتضح أيضاً اختلاف المحاصيل فى استجابتها باختلاف مراحل النمو بالإضافة إلى طريقة الرى.

جدول (٦-٤) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة

Crop	Specific growth stage	k_y	Irrigation method	Reference
Common bean	Vegetative. Yield formation	0.57 0.87	Furrow	Calvache and Reichardt (1999)
	Whole season	0.99	Sprinkler	
Cotton	Flowering and yield formation	0.99	Sprinkler	Bastug (1987)
	Whole season	0.86	Drip	
	Bud formation.	0.75	Check	Prieto and Angueira (1999)
	Flowering	0.48	Furrow	
	Boll formation;	0.46	Furrow	
	Flowering;	0.67		Anac et al (1999)
	Vegetation	0.88		
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	Ahmad (1999)
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	Craciun and Craciun (1999)
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	Kirda et al. (1999a)
Sunflower	Whole season	0.91	Furrow	Karaata (1991)
	Vegetative and yielding	0.83	Furrow	

Crop	Specific growth stage	k_p	Irrigation method	Reference
Sugar beet	Whole season,	0.86	Furrow	Bazza and Tayaa (1999)
	Yield formation and ripening.	0.74	Furrow	
	Vegetative and yield formation	0.64		
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	Pene and Edi (1999)
Potato	Vegetative,	0.40	Furrow	Iqbal et al. (1999)
	Flowering,	0.33		
	Tuber formation	0.46		
	Whole season	0.83	Drip	Kovacs et al. (1999)
Wheat	Whole season,	0.76	Sprinkler Basin	Madanoglu (1977)
	Whole season	0.93		
	Flowering and grain filling	0.39	Basin	Waheed et al. (1999)

وعلى ذلك فمن المتوقع زيادة كفاءة استعمال الماء (WUE) في هذه الحالات حتى ينقص المحصول ويعبر عن كفاءة استعمال الماء للمحصول بالمعادلة (٢)

$$E_c = Y / Et_p \quad (2)$$

حيث أن:

E_c = كفاءة استعمال الماء للمحصول

Y = المحصول (كيلوجرام/هكتار)

Et_p = معدل النتح بخر الحقيقي (مم)

من المعادلة (١) و (٢) يمكن استنباط المعادلة (٣) التالية لتقدير كفاءة استعمال الماء

$$E_c = \frac{Y}{ET_p} = \left[k_p - \frac{k_p - 1}{ET_p / ET_m} \right] \times \frac{Y_m}{ET_m} \quad (3)$$

حيث أن:

E_c = كفاءة استعمال الماء (تتوقف على معامل إستجابة المحصول K_p)

وبذلك يمكن تعويض النقص فى المحصول بتوفير مياه للتوسع فى زراعة محاصيل أخرى تعوض وتزيد عن النقص الحادث اقتصاديا.

يوضح جدول (٦-٥) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بإنخفاض ٢٥% من معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية. ويتم ذلك حينما يكون النقص النسبى فى المحصول أقل من النقص النسبى للنتج بخر. ومثال على ذلك أنه فى حالة تعرض نباتات الذرة لإنخفاض ٢٥% من معدل النتج بخر طول فترة نمو المحصول يتم الحصول على ٨٢% من المحصول كما هو موضح بالجدول وعندئذ تكون كفاءة استعمال الماء ١,٠٩ بالمقارنة بالمحصول الذى لم يخفص له معدل النتج بخر وهذا يعنى إمكانية زيادة الرقعة المنزرعة بتوفير مياه المحاصيل التى ترتفع كفاءة استعمالها للماء بنقص معدل النتج بخر. إلا أن ذلك يندرج على المحاصيل التى تتعرض لهذا النقص طول فترة حياتها وذلك لإمكانية حساب احتياجها المائى. وفى حالة تعرض النباتات لفترة معينة فيستوجب ذلك حساب كمية الماء الواجب توفيرها بمعرفة الاحتياج المائى الكلى (الاستهلاك المائى) خلال هذه المرحلة. حيث أنه فى حالة زيادة كفاءة استجابة معامل المحصول (K_p) يحدث نقص فى كفاءة استعمال الماء (E_p) مما يعنى أن العائد من نقص ماء الري قد يكون مختلفا تبعاً لمرحلة النمو التى تتعرض لنقص المياه. ويمكن القول أن تعرض أربع مراحل فسيولوجية تكفى لوصف مدى حساسية المحصول للإجهاد المائى فى هذه المراحل. ويمكن إجمال هذه المراحل فى الآتى:

الأولى Initial stage فيها تغطي النباتات ١٠% من سطح الأرض.

الثانية Crop development تبدأ من نهاية المرحلة الأولى إلى اكتمال التغطية وبداية الإزهار.

الثالثة Mid season تبدأ من نهاية المرحلة الثانية إلى بداية النضج.

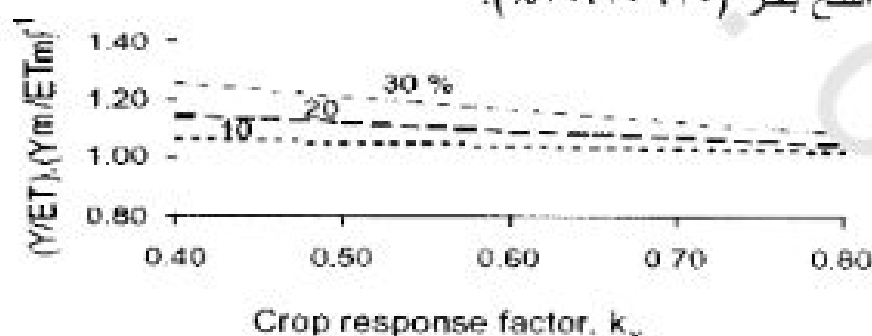
الرابعة Late season تبدأ من نهاية المرحلة الثالثة إلى الحصاد.

جدول (٥-٦) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بإنقاص ٢٥% من

معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية

Crop	Stage when ET deficit occurred	k_p	Irrigation method	Expected relative yield	Relative water use efficiency
Common bean	Vegetative, Yield formation	0.57	Furrow	0.86	1.14
		0.87		0.78	1.04
Cotton	Whole season, Boll formation and flowering	0.86	Drip	0.79	1.05
		0.48		0.88	1.17
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	0.82	1.09
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	0.82	1.09
Potato	Whole season, Vegetative	0.83	Drip	0.79	1.06
		0.40		0.90	1.20
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	0.86	1.14
Sugar beet	Whole season, Mid-season	0.86	Furrow	0.79	1.05
		0.61		0.84	1.12
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	0.90	1.20
Sunflower	Whole season, Vegetative yielding	0.91	Furrow	0.77	1.03
		0.83		0.79	1.06
Wheat	Whole season, Flowering and grain filling	0.76	Sprinkler	0.81	1.08
		0.39		0.90	1.20

ولتقييم الحساسية للماء تعرض النباتات لخفض مياه الري أثناء فترة واحدة معينة من النمو. ويوضح شكل (٦-٢) العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلية ومعامل استجابة المحصول عند خفض النتج بخر حيث يتضح أنه عند نقص معامل استجابة المحصول للماء عن الوحدة تزيد كفاءة استعمال الماء وذلك تحت النسب المختلفة من نقص معدل النتج بخر (١٠، ٢٠، ٣٠%).



شكل (٦-٢): العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلية ومعامل استجابة المحصول عند خفض معدل النتج بخر

ويمكن القول أن تعريض المحاصيل لنقص محدود من ماء الري في مراحل نمو مختلفة يعمل على نقص المحصول بكمية قليلة تؤدي إلى قبول دراسات الجدوى الاقتصادية كما يحدث في حالة التعرض لنقص ماء الري بمرحلة الإزهار وتكوين اللوز في القطن، امتلاء الحبوب في القمح، النمو الخضري وتكوين المحصول في دوار الشمس وبنجر السكر وفول الصويا.

وقد أقام عبد الجواد وآخرون (١٩٩٣) Abd El-Gawad et al 1993a دراسة حقلية عن تأثير تعطيش نباتات القمح في المراحل المختلفة من العمر فوجد نقص نمو القمح بالتعطيش في طور التفريع، طرد السنابل، النضج اللبنى والعجنى الأصفر بالإضافة إلى نقص عدد الثغور في سطح ورقة العلم. كما وجد أن كفاءة استخدام الماء تراوحت بين ١.٣١-٣.١٩ كجم/م^٢ (عبد الجواد وآخرون ١٩٩٣b) Abd El-Gawad et al 1993b عند حرمان نبات القمح من الري في طور التفريع إلى طور النضج العجنى الأصفر على الترتيب.

وعند تعريض النباتات لإجهاد الجفاف يؤدي ذلك لتقليل معدل النتج بخر الذى يؤدي بدوره إلى غلق الثغور ونقص عملية التمثيل الكربونى مما يؤدي إلى نقص إنتاج الكتلة الحيوية الكلية Biomass ولا شك أن ذلك له تأثير طفيف على المحصول النهائى في حالة المحاصيل التى تتميز بقدرة إنتاجية تعويضية عالية حيث يحفز نقص فترة النمو الخضري العمليات الفسيولوجية التى تسبب زيادة في المحصول مثل دفع النباتات لإزهار القطن، وزيادة تعمق المجموع الجذرى والنضج في محاصيل الحبوب وتحسين الجودة والطعم في ثمار الفاكهة على حين يؤدي تعريض النباتات لإجهاد الجفاف أثناء مرحلة الإثمار إلى التأثير على العقد في محاصيل الحبوب مما يؤثر على المحصول.

ولقد أدى رش المجموع الخضري بالبرولين اصنفين من الذرة الشامية عند عمر أسبوعين والنامية بالحقل تحت ظروف الإجهاد الرطوبى إلى تنشيط العديد من العمليات الفسيولوجية حيث أوضحت الدراسة زيادة تركيز المغذيات المعدنية بالمسوق والجذور بأنسجة النباتات المعاملة عن غير المعاملة فزاد تركيز كل من البوتاسيوم، الكالسيوم، النيتروجين والفوسفور (Ali et al, 2008).

إن التطبيق الصحيح لإنقااص ماء الري يمكن من توفير الماء لري محاصيل الحقل الأخرى. حيث أظهرت محاصيل الفول السوداني، فول الصويا، الفاصوليا

والقصص زيادة نسبية في نقص المحصول مقارنة بنقص النتج بخر النسبي الذي يتعرض له في مراحل معينة من النمو، مما يعنى تأثرها بنقص ماء الري. على حين أن محاصيل القطن، الذرة الشامية، القمح، دوار الشمس، بنجر السكر والبطاطس تتناسب مع تكتيك نقص كمية مياه الري المضافة إما أثناء موسم النمو بأكمله أو عند مراحل النمو المحددة سابقاً، حيث أن نقص مياه الري بمرحلتى الإزهار وتكوين اللوز بالقطن وأثناء الإزهار بالقمح، مراحل النمو الخضري لفول الصويا ودوار الشمس ومرحلة إنتاج الأقراص بدوار الشمس وتكوين الجذور بينجر السكر، قد أعطت نتائج مقبولة لدراسات الجدوى مما يعطى مؤشرات لممارسة تقنية إنقاص مياه الري.

استخدام النمذجة في محاكاة استجابة المحاصيل للماء:

إن تدهور مصادر الماء وزيادة متطلبات الغذاء تحتاج لزيادة كفاءة استعمال ماء الأمطار وماء الري في الزراعة كما سبق القول لذلك يلعب استخدام النمذجة دوراً مفيداً في تطوير التوصيات العملية لتحقيق أمثل إنتاجية للمحاصيل تحت ظروف ندرة المياه وفي عام ١٩٩٢ تم تطوير النموذج CROPWAT (1998) بواسطة قسم تطوير الأراضي والمياه التابع لمنظمة الأغذية والزراعة الذي يوضح نموذج بسيط للتوازن المائى الذى يسمح بمحاكاة ظروف الإجهاد الرطوبى للمحاصيل مع تقدير النقص فى المحصول عن طريق قياس معدل النتج بخر للمحصول (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة ١٩٩٨) حيث استخدم Kirda et al (1999b) بيانات ثلاث دراسات أقيمت لتقييم إمكانية استخدام هذا النموذج للرى بحساب النقص النسبى للمحصول منسوباً للنقص النسبى لمعدل النتج بخر وحساب معامل استجابة المحصول بتطبيق المعادلات العملية Empirical (FAO, 1979) والتي أمكن من خلالها تحليل مجموعة من قيم معامل استجابة المحصول لستة وعشرون محصولاً خلال مراحل نمو مختلفة كما فى المعادلة التالية:

$$1\bar{\alpha} Y_s/Y_{max} = K_r (1\bar{\alpha} E_t/ET_m)$$

حيث أن:

$1\bar{\alpha} Y_s/Y_{max}$: مكونات النقص فى المحصول الناتج من نقص معدل النتج بخر

$1\bar{\alpha} E_t/ET_m$: نقص معدل النتج بخر

وتتضح إمكانية محاكاة النموذج المذكور لنقص المحصول الناتج من التعرض للإجهاد المائى بالإضافة إلى تحديد حساسية مراحل النمو المختلفة التى يكون للإجهاد الرطوبى تأثير سالب على المحصول. مع إمكانية إمداد المزارعين ورجال الإرشاد الزراعى بالمعلومات التى تمكنهم من جدولة نقص ماء الري تحت مختلف الظروف من الإمداد المائى وإدارة الأرض والمحصول.

الموانمة لظروف الرطوبة غير الملائمة:

تتعرض المحاصيل أثناء حياتها إلى ظروف من الرطوبة غير الموانمة فقد تتعرض للجفاف ويكون ذلك ناتج من نقص الأمطار أو تأخير الري أو التعرض للرياح الحارة الجافة التى يتسبب عنها ارتفاع معدل النتح بخر المقارن الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول.

أقلمة المحاصيل للبيئات ذات المياه المحدودة

يعنى الجفاف جفاف الأرض الناتج من نقص الأمطار أو تأخير الري أو التعرض للرياح الحارة الجافة (ارتفاع النتح بخر المقارن) الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول. أما ألية الأقلمة للجفاف فهى تتضمن كل من الهروب من الجفاف والمقاومة للجفاف.

١ - الهروب من الجفاف: هو قدرة النبات على استكمال مراحل نموه الحساسة للجفاف (مراحل الإزهار، تكوين البذور، تكوين الثمار) فى الفترات التى لا يتعرض فيها للجفاف أثناء موسم النمو. والأمثلة على ذلك المحاصيل الحولية قصيرة العمر التى تنمو تحت الظروف المصرية بالساحل الشمالى الغربى حيث قلة سقوط الأمطار. فنجد أن الأصناف المؤقلمة جيداً للجفاف يتوافر لها الوقت الأمثل للإزهار وفترة كافية من الزراعة للحصاد تتوافق مع فترة سقوط الأمطار فعلى سبيل المثال فإن تعرض الأصناف طويلة العمر للجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب سيؤدى إلى نقص حجم الحبوب وأحياناً نقص حيويتها مما يعمل على نقص محصول الحبوب. وفى حالة إزهار الأصناف قصيرة العمر مبكراً جداً تحت وفرة المياه تنخفض

قدرة النباتات على إعطاء المحصول لصغر الحبوب عن الأصناف طويلة العمر. كذلك فإن الأصناف التي تزهر مبكراً جداً قد تعاني من الإصابة بالعفن نتيجة لزيادة الأمطار أثناء مرحلة الإثمار ونضج البذور وبذلك فإن تقدير وقت وطول فترة التزهير المثلى لمناخ معين لمنطقة بعينها يصبح شديد التعقيد لذلك تنشأ مشاكل عديدة نتيجة عدم انتظام سقوط الأمطار بالمواسم المختلفة.

٢- المقاومة للجفاف: تعرف بأنها قدرة أو ارتفاع قدرة صنف أو نوع على إنتاج

محصول إقتصادي مرتفع عند التعرض لجفاف التربة أو الجو. وتتباين المقاومة للجفاف في أنواع محاصيل الحقل المختلفة. فتعتمد مقاومة المحاصيل للجفاف على طبيعة المنتج الإقتصادي لأنواع المختلفة حيث أن مقاومة المحاصيل الورقية للجفاف ذات المنتج الإقتصادي الورقي منخفضة لتأثر كمية وجودة المحصول حتى لو كان الجفاف قليلاً حيث يلزم أن تحافظ على ارتفاع انتفاخ الخلايا باستمرار إضافة الماء في بيئة تتخفض بها متطلبات عملية التبخير مثل المناطق الباردة أو الرطبة. وتكون المحاصيل الدرنية أكثر مقاومة للجفاف عن المحاصيل الورقية حيث تتأثر بالجفاف في المدى بين القليل - المتوسط. على حين أن محاصيل الدريس مثل البرسيم الحجازي يكون أكثر مقاومة للجفاف لتمييزه بالجذور المتعمقة بالأرض والتي تمكنه من استخلاص الماء تحت هذه الظروف دون معاناة من نقص المحصول، وتعتمد المحاصيل المثمرة في مقاومتها للجفاف على مرحلة النمو، نوع المنتج الإقتصادي وطبيعة النمو الخضري، فإذا كانت من المحاصيل محدودة النمو تكون مقاومة للجفاف في مرحلة النمو الخضري أكثر منه أثناء مراحل الإزهار المبكر أو الإثمار. وتقاوم المحاصيل المنتجة للثمار الغضة الجافة التعرض للجفاف في نهاية الموسم عن المحاصيل المنتجة للثمار الغضة حيث يلزم احتفاظها بالماء للحفاظ على انتفاخ خلاياها. أما المحاصيل غير محدودة النمو كالتفاح واللوز فيمكن أن تقاوم جفاف منتصف الموسم عن المحدودة النمو كالذرة، الأرز، الذرة الرفيعة، القمح والدخن. وذلك لإمكان إنتاج المزيد من الأوراق والثمار والبذور على الساق الرئيسي عكس الحال في النباتات محدودة النمو ولقد وجد (Gwathmey and Hall 1992) إمكانية إنتاج دورة جديدة ثانية من الأوراق، الأزهار، الثمار والبذور لنبات اللوز بعد إزالة الجفاف الذي قضى على

الدورة الأولى. ويمكن للنباتات محدودة النمو مقاومة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب عن غير محدودة النمو لقدرتها على إكمال انتقال المواد الكربوهيدراتية إلى الحبوب لمساهمة المخزن منها قبل الإزهار بنسبة ٤٠% فى وزن الحبوب كما هو الحال فى القمح والشعير الذى تعرض للجفاف المتأخر.

ويمكن استخدام النموذج التالى لمعرفة تأثير الجفاف على المحاصيل الحولية محدودة النمو لاستخدامها فى تقدير الحساسية للجفاف بمراحل النمو المختلفة

$$Y_d = Y_w (1 \hat{n} D_v S_v) (1 \hat{n} D_f S_f) (1 \hat{n} D_s S_s)$$

حيث أن:

Y_d : محصول الحبوب المنتج تحت ظروف الجفاف.

Y_w : محصول الحبوب المنتج تحت وفرة المياه.

D_v : شدة الجفاف أثناء مرحلة النمو الخضري (v)

D_f : شدة الجفاف أثناء مرحلة الأزهار (f)

D_s : شدة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء البذور (s)

S_v : الحساسية للجفاف بمرحلة النمو الخضري (v)

S_f : الحساسية للجفاف بمرحلة الأزهار (f)

S_s : الحساسية للجفاف بمرحلة امتلاء الحبوب (s)

علمًا بأن: $D = 1 - Et_f / Et_w$

وتتراوح قيم الحساسية ما بين ١ (عالي الحساسية) إلى صفر (عالي المقاومة). ويمكن حساب قيمة (S) من إقامة تجارب تحتوى على معاملات مختلفة للجفاف فى مراحل النمو المذكورة ثم تقاس قيمة النتح بخر (ET) لمعرفة قيمة (D) ثم حساب قيم Y_d و Y_w

ومن المعروف أن محصول الذرة الشامية حساس جدا للجفاف أثناء مرحلة الإثمار حيث يتأثر المحصول بالتعرض للجفاف أثناء مرحلة الإزهار والإثمار حتى لو

توافر الماء بقية مراحل النمو، فإذا تعرض لفترة قصيرة من الجفاف أثناء ظهور النورة المذكورة رغما عن توافر الماء بقية المراحل الأخرى فإنه يعطى مادة جافة معقولة إلا أن الكيزان تحتوى على القليل من الحبوب لبطء خروج النورة المؤنثة (الحريرة) عن النورة المذكورة مما يعمل على الإخلال بالتوافق الزمني الذي يؤدي إلى قلة عدد الأزهار المؤنثة الملقحة رغما عن توافر أعداد حبوب اللقاح الحية وبذلك تنقص أعداد الحبوب بالكيزان وعادة ما تتساقط معظم حبوب اللقاح قبل ظهور النورة المؤنثة (Hall et al 1982). ولقد سلط (Herrero and Johnson 1981) الضوء على آلية التعرض للجفاف على النورة المؤنثة حيث ذكر أنه عند رى الذرة استطالت النورة المؤنثة بسرعة أثناء الليل ثم قلت الاستطالة لتصل إلى الصفر أثناء النهار حيث يكون الجهد المائي للورقة مرتفع السالبة وعند التعرض للجفاف تبطء استطالة النورة المؤنثة أثناء الليل وعند حلول النهار تنكمش حيث يكون الجهد المائي للورقة أكثر سالبة منه في حالة النباتات المروية جيدا. وربما يفسر الفرق في ضغط إنبات الحريرة جزئيا الخلاف في معدل الاستطالة في حالة التعرض أو عدم التعرض للجفاف، حيث يكون معدل استطالة النورة المؤنثة أبطأ في النباتات المعرضة للجفاف عن المروية والتي يكون الجهد المائي لورقة الكوز متماثلا في الحالتين.

ولقد تبنى كل من (Westgate and Boyer 1986) آلية أخرى حيث ذكروا أن منع عملية التمثيل بالذرة المعرضة للجفاف يؤدي إلى نقص المواد الكربوهيدراتية المسئول نقصها عن إجهاض الأجنة، فرغما عن إنبات حبوب اللقاح ونمو الأنبوبة اللقاحية وإخصاب البويضات بالكيس الجنيني يحدث إجهاض للأجنة. وقد أيد هذا الزعم Boyer et al (1991) حيث تم منع إجهاض البويضات بإضافة السكريز للنباتات المعرضة للجفاف.

ونتيجة للرأى الأول فقد حاول مربوا المحصول تشجيع مقاومة الذرة للجفاف بانتخاب نباتات تكون الفترة بين ظهور الأزهار المذكورة وطرْد النورة المؤنثة النامية تحت ظروف الجفاف قصيرة، حيث وجد أن الانتخاب التكرارى لهذه الصفة من ٣-٨ دورات أدى إلى زيادة في محصول الحبوب بمقدار ٣٠-٥٠% دون حدوث تغيير في المادة الجافة الكلية للسيقان عند تعرضها للجفاف أثناء الإزهار. لقد وجد أن هناك

لارتباط قوى وسالب بين هذه الفترة وعدم وجود علاقة للصفات المرفولوجية أو الفسيولوجية تشير لتحسين حالة الماء بالنبات (Bolanos and Edmeades, 1996). ولقد أوصى الباحثون أنه لتربية الذرة لتشجيع المقاومة للجفاف عند التعرض له أثناء الإزهار ينبغي أن يكون من خلال إجراء الانتخاب من برنامجين الأول وفيه يتم الانتخاب لمحصول الحبوب تحت ظروف وفرة المياه والثاني للانتخاب للفترة بين طرد الأزهار المذكورة والأزهار المؤنثة، عدد كيزان النبات، ومحصول الحبوب تحت ظروف التعرض للإجهاد المائى الشديد أثناء مرحلة الإزهار (Bolanos and Edmeades, 1996).

ومحصول القمح حساس للجفاف عند التعرض للمرحلة المبكرة من الإزهار إلا أن آلية التأثير بالجفاف تختلف عما هو الحال في الذرة. حيث أن عدد الحبوب في سنبلة القمح يقل بالتعرض للجفاف لفترة ٧ أيام قبل الإزهار. يكون عقم الزهرة مرتبط بعقم حبوب اللقاح على عكس الحال في الذرة حيث لا تتلف حبوب اللقاح بالتعرض للجفاف كما سبق القول وربما يكون زيادة مستوى حمض الأبسيسيك هو المسئول عن العقم الذكري للقمح. ويستخدم النموذج التالي لمعرفة تأثير الجفاف على محصول النباتات الحولية غير محدودة النمو:

$$Y_d - Y_w (\ln D_v S_v) \times (N_{i1} \bar{n} S_{i1}) + (N_{i2} \bar{n} D_{i2} S_{i2}) + 0 \text{ etc.}$$

حيث أن:

i_1, i_2 : فترات الإثمار المتفصلة للنبات غير محدود النمو

N : نسبة محصول الحبوب الناتج من موجة واحدة من الثمار بالنسبة لمجموع

N_{i1}, N_{i2} ... إلخ وتساوى ١.

D : شدة الجفاف

S : الحساسية للجفاف

وعادة ما تكون S_i بالمحاصيل غير محدودة النمو أقل منها في حالة المحاصيل محدودة النمو حيث تنتج الأولى أوراقا أكثر بمجرد انحسار الجفاف. ويصدق هذا النموذج في حالة حدوث تلف جوهري لموجة الأزهار الأولى بحيث يتم تعويضها

جزنياً بالموجة الثانية والتي تزيد حتى عن الموجة الثانية في النباتات التي تم ربيها جيداً. ويجدر الإشارة هنا إلى أن النموذج السابق لكي يحاكي الواقع قد يكون في غاية التعقيد لوجوب احتوائه على الكثير من المدخلات الطارئة الضرورية.

وتختلف المحاصيل في مقاومتها للجفاف حيث يتضح أن هناك محاصيل أكثر مقاومة للجفاف مقارنة بغيرها فنجد أن الذرة الرفيعة والدخن أكثر مقاومة من الذرة الشامية أكثر من الأرز. والشعير أكثر من القمح أكثر من البطاطس. والفول السوداني أكثر من فول الصويا أكثر من فول الحقل.

وكما توجد اختلافات بين الأنواع توجد أيضاً اختلافات بين الأصناف والسلالات في مقاومة الجفاف حيث أن أصناف القمح مثل جيزة ١٦٨، ياكورا (Habib et al, 2010) وسخا ٩٣ أكثر تحملاً للجفاف من الأصناف الأخرى (Abdel kader et al. 2010) والصنف هجين صحراوي قادر على تحمل الجفاف في الشعير مقارنة بالأصناف الأخرى.

آلية التحمل للجفاف

تختلف النباتات في رطوبة الوسط الذي تنتشر فيه فبعضها ينتشر بوسط رطب والبعض ينتشر بوسط جاف. ويمكن تقسيم النباتات تقسيماً بيئياً على أساس رطوبة الوسط الذي تنتشر فيه إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي النباتات المائية، الوسطية الجفاف، والجفافية أو الصحراوية. ويتضمن كل قسم من هذه الأقسام عدداً من الأنواع النباتية التي قد تكون بعيدة في قرابتها وهذا للتقسيم مثل ما في كثير من التقسيمات البيولوجية يتضمن حدوداً غير قاطعة بين المجاميع.

وتتضمن النباتات المائية عدداً من النباتات التي تعيش في الأرض المشبعة بالماء والتي يرتفع بها الماء بقدر غير ملائم لنمو النباتات العادية. والماء في جميع هذه الظروف ليس ضاراً في حد ذاته، ولكن يؤدي إلى البطء الشديد لسريان الأكسجين وانتشاره في الماء وإلى وجود ظروف حرجية لا يمكن أن تواجهها أو تغلب عليها سوى النباتات المتخصصة. ولا ينتمي إلى النباتات المائية أي من محاصيل الحقل. وتعتبر نباتات الأرز والذنبية والنسيلة أقرب الحاصلات الزراعية لها. والقسم الثاني

وهو النباتات الوسطية الجفاف ولا تستطيع هذه النباتات استيطان الماء أو الأراضي المبتلة والأماكن الجافة والتي تنقص فيها كمية الماء بما لا يفي بالاحتياجات اللازمة لنمو النبات، وتنتمى معظم محاصيل الحقل كالذرة، القطن، والقمح إلى هذه المجموعة وتعيش فى مناخ معتدل الحرارة والرطوبة ولكي تنمو نموا جيدا وتغل محصولا وفيرا يلزم لها كمية معتدلة من الرطوبة ونهوية جيدة حول الجذور. والقسم الثالث وهو النباتات الجفافية أو الصحراوية وتوجد فى الظروف الجفافية التي لا تستطيع فيها الحصول على احتياجاتها المائية، وقد يرجع ذلك لنقص حقيقى للماء فى البيئات الجافة مثل الصحارى، أو لعدم تيسر الماء للنباتات رغم وجوده، ويعتبر ذلك نقصا فسيولوجيا للماء إذ أن الماء موجود إلا أنه غير قابل للاستخدام. وتوجد هذه الظاهرة حينما يرتفع تركيز محلول الأرض، كما ينشأ فى ظروف انخفاض درجة الحرارة لدرجة نقص معدل امتصاص جذور النباتات ونقص معدل انتقال الماء بالنبات. وتبدو مظاهر البيئة الجفافية فى الظروف التي تساعد على فقد الماء من النباتات بمعدل أكبر من امتصاصه كما فى حالة ارتفاع شدة الإضاءة ودرجة الحرارة.

تتواءم خصائص النباتات مع ظروف الرطوبة السائدة فإذا نجحت الموانسة نشأ التوازن المائى فى النباتات وإذا فشلت أخلل التوازن المائى وقضى على النبات. وعموما يمكن مناقشة موضوع آلية التحمل للجفاف تحت عدة مواضيع مثل فقد الماء، تنظيم الأسموزية وسلوك المحاصيل.

فقد الماء:

يحدث أكبر فقد فى حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوى من خلال عملية نتح الأوراق وتعتمد هذه العملية على التغيرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة الذى يتحكم فى فتح وغلق الثغور، وعند زيادة ضغط الانتفاخ يتم زيادة فتحات الثغور مما يعمل على زيادة فقد بخار الماء فى عملية النتح (تعتمد التغيرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلية أساسا على التغيرات فى جهد محلول العصير الخلوى) وينخفض جهد محلول العصير الخلوى (Ψ_s) للخلايا الحارسة بضغط النبات كاتيون البوتاسيوم والعديد من الأيونات والسكريات الناتجة من تحول النشا إلى سكر مما يعمل على اندفاع الماء من الخلايا المجاورة وبالتالي رفع ضغط الانتفاخ بالخلايا الحارسة

مما يزيد من فتح الثغور ويزيد من فقد بخار الماء في عملية النتح ويعمل ذلك على امتصاص الماء، بالإضافة إلى أن أي تغيير ولو بسيط يحدث في ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة قد يحدث نتيجة للتغيرات في الجهد المائي للأوراق الناتج من التغيرات في جهد الخلايا الحارسة.

ويشابه معدل انسياب الماء من التربة إلى النبات حركة بخار الماء في عملية النتح أثناء النهار مما يوجد نقص في محتوى النبات من الماء وعلى العكس فإن سريان الماء إلى وخلال النبات يمكن أن يزيد عما هو الحال في فقد بخار الماء في فترات النصف الثاني من اليوم وعلى الأخص أثناء الليل حيث ينخفض معدل النتح مما ينتج عنه بعض شفاء لحالة الماء بالنبات ويقاس سريان الماء مابين الأرض والأوراق بالفرق بين جهد الماء للأرض والجهد المائي للورقة.

وتتم حركة الماء من المناطق ذات الجهد المائي المرتفع (قريبة من الصفر) إلى المناطق ذات الجهد المائي المنخفض (أقل من الصفر أي سالبة القيمة) وتنف حركة الماء عندما يتساوى الجهد المائي للمنطقتين.

وتحدث عدة تغييرات لاستجابة معدل النتح للجهد المائي للورقة يمكن أجمالها فيما يلي:

١. يقل معدل النتح للنباتات التي تتعرض للجفاف عن النباتات المروية.
٢. ينخفض الجهد المائي للورقة عند مستويات معينة من النتح وقبل الفجر predawn.
٣. ينخفض معدل النتح عند انخفاض جهد الورقة وقت الظهيرة عنه في الصباح.

مكونات الجهد المائي الكلي Ψ

الجهد عبارة عن الطاقة الميكانيكية أو الكيماوية و التي في وسعها أن تؤدي عملاً معيناً بسبب وجودها في وضع معين أو في حالة كيماوية معينة. و يتكون الجهد المائي الكلي بالتربة والنبات من الآتي:

- ١- جهد المحلول Solute Potential (Ψ_s) وهو الناشئ عن وجود الذائبات بالماء وتعمل على إنقاص الطاقة الحرة للمحلول مقارنة بالماء النقي. وعادة ما يكون التأثير سالباً بالتربة حيث تؤدي الأملاح إلى تقليل صلاحية الماء للاستفادة بالنبات.

٢- الجهد المهادي Matric Potential $\{\Psi_m\}$ ويزدى إلى نقص الطاقة الحرة للماء نتيجة للقوى التي توجد بين الماء والمكونات الصلبة مثل التربة وجدار الخلية.

٣- جهد الضغط Pressure Potential $\{\Psi_p\}$ ويعبر عن الدرجة التي تزداد بها الطاقة الحرة بواسطة الضغط كما يحدث عند الإنتفاخ في الخلية الحية أو النقص الذي يحدث بواسطة التوترات الناتجة في عناصر النظم الكبرى مثل قصيبات عناصر الخشب.

تنظيم الأسموزية:

يخلط البعض بين مصطلح تنظيم الأسموزية الراجع إلى تجميع الذائبات والتي بزيادة تركيزاتها داخل الخلية تشجع تدفق الماء إلى الخلية مما يساعد النباتات على التأقلم لظروف الجفاف، وتغيير الأسموزية الراجع إلى تركيز الذائبات والتي قد تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على استمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة. ففي الحالة الأولى فإن العلاقات المائية للخلايا الحية تتأثر بدرجة كبيرة بتجميع الذائبات. ويحكم نمو الخلايا والأنسجة بوحدة الحجم والطول والمساحة المعادلة التالية:

$$d_v/d_t \text{ or } d/d_t \text{ or } d_x/d_t = k \times (\Psi_p - \Psi_m)$$

حيث أن:

K: القابلية للتمدد

Ψ_p : بداية جهد الضغط

وهما يعتمدان على عملية البناء والتمثيل الضوئي وارتفاع جدر الخلايا وبالتالي على درجة الحرارة.

ويكون جهد الضغط للخلايا النشطة النامية حوالي ٨ بار مما يعنى أن يكون جهد المحاليل داخل الخلية أكثر سالبية من - ٨ بار. وينتج جهد المحاليل المنخفض من تراكم الذائبات إما بالحصول على أيونات غير عضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم لأيونات الكلوريد أو الجزيئات الصغيرة العضوية مثل السكريات، الأحماض العضوية أو الأحماض الأمينية. ولا ينبغي الاعتقاد بأن ذلك يحدث نتيجة لنقص جهد الضغط

حيث أن الدراسات أوضحت حدوث تغييرات لكل المتغيرات بالمعادلة السابقة في كثير من الأحيان ويظل جهد الضغط ثابتا في بعض الحالات حتى عند نقص معدل النمو.

وعند نقص الجهد المائي للخلية نتيجة لنقص الماء ينقص جهد الضغط أيضا في حالة حدوث تنظيم في الأسموزية نتيجة لتراكم الذائبات وليس نتيجة لتعديل الأسموزية. وعند تعرض النباتات لفترة طويلة من الجفاف تعمل الخلايا على تجميع الذائبات مما يستلزم حساب المحتوى النسبي للماء الذي يكون مفيدا في تقدير درجة تنظيم الأسموزية للنسيج النباتي من المعادلة التالية:

$$\text{المحتوى النسبي للماء بالنسيج} = \frac{\text{الوزن النضر للنسيج بعد غمره في الماء} \bar{n} \text{ الوزن الجاف للنسيج بعد التجفيف في الفرن للتخلص من الماء النقي}}{\text{الوزن بعد غمر النسيج في الماء} \bar{n} \text{ الوزن الجاف}} \times 100$$

كذلك فإن المعادلة التالية تتبع للتعرف على ما إذا كان قد حدث تنظيم لأسموزية النسيج النباتي أم لا

$$\Psi_s \text{ full turgor} = \Psi \text{ symplast} \times (\text{RWC} \bar{n} \text{ apoplast \%}) / 100 \bar{n} \text{ apoplast \%}$$

وفيها يتم تقدير قيم جهد المحلول للسيمبلاست للنسيج وهو في كامل الانتفاخ قبل التعرض للجفاف ثم وهو في كامل الانتفاخ بعد التعرض للجفاف وكلما كانت قيمة جهد المحلول بعد التعرض للجفاف مرتفعة السالبة كلما دل ذلك على القدرة العالية للنسيج على تنظيم الأسموزية وبالتالي القدرة على التأقلم لظروف الجفاف. ويساعد تنظيم الأسموزية (تجمع الأملاح) الخلايا على الحفاظ على توازن مائي بالنبات عن طريق المحافظة على ضغط انتفاخ موجب بالخلايا وعندما تجف التربة يصبح جهد الماء أكثر سالبة مما يمكن النبات من استمرار امتصاص الماء طالما جهد النبات المائي أكثر من الجهد المائي للأرض.

ويعبر عن النسبة المئوية للماء بالورقة وهي في كامل انتفاخها والموجودة خارج الغشاء البلازمي (أي بالجدر الخلوية وقصيبات بأوعية الخشب) بالأبوبلاست Apoplast ويمكن الحصول على قيمتها إما عن طريق المراجع أو بقياسها بحجرات قياس الضغط للحصول على منحنى ضغط-حجم الورقة.

وتصبح الخطوة الأخيرة هي تطبيق المعادلة التالية لتصحيح التغيرات الحادثة في حجم الخلية لتعديل جهد المحلول إلى حالة كامل الانتفاخ

$$RWC = 100 \times \frac{FW - DW}{TW - DW}$$

حيث أن:

RWC: محتوى الماء النسبي

إن تنظيم الأسموزية بالفجوة العصارية التي هي المكون الأكبر للسمبلاست يتطلب تجمع الأيونات غير العضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم، تمثيل الأحماض العضوية، تحويل السكريات العديدة إلى سكريات بسيطة. وتغيير الأسموزية للبروتوبلازم تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على إستمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة وأغشية الخلية وهذه تتضمن البرولين، جليسينينوتان، مانيتول وسوربيتول. هذه الجزيئات تتميز بقدرة عالية على الذوبان ولا تحمل شحنات عند رقم الحموضة الفسيولوجي وغير سامة عند تواجدها بتركيزات مرتفعة. بالإضافة إلى أنها تؤدي إلى ثبات البروتين والأغشية. ويحدث تعديل الأسموزية في جميع الخلايا النامية وغير النامية كما هو الحال في الثغور كآلية للحفاظ على ضغط الانتفاخ كقوة ضرورية لدفع جدر الخلايا للخارج.

سلوك المحاصيل:

يمكن اعتبار أن مقاومة الجفاف تعتمد بقدر على تجنب فقد الماء Dehydration avoidance، الاستجابة للتغذية الأمامية أو إن شئت قل الاستجابة الإستباقية Feed-forward response، تحمل فقد الماء Dehydration tolerance وكفاءة استعمال الماء Water use efficiency. ويمكن أن تسلك المحاصيل تلك الآليات الأربع لمقاومة الجفاف.

١ - تجنب فقد الماء:

تشير المعادلة التي سبق التنبؤ عنها تحت عنوان تنظيم الأسموزية والمتعلقة بدرجة الحفاظ على محتوى الماء النسبي بالنبات عند التعرض للجفاف مقارنة

للمحاصيل الأخرى لإمكانية استخدامها في الحكم على تجنب المحاصيل لفقد الماء. حيث يتجنب المحصول الجفاف بالحفاظ على جهد رطوبي مرتفع للورقة (٧٢) بحيث تقرب قيمته من الصفر عندما يتعرض للجفاف نتيجة لتميزه ببعض الصفات مثل قدرة جذوره على التعمق بالأرض لاستخلاص الماء من الأعماق البعيدة، بطء نمو الأوراق وغلق الثغور عند التعرض للجفاف مبكراً مقارنة بغيره من الأصناف. وتختلف نوعية هذه المحاصيل في سلوكها بتعرضها للجفاف حيث يحدث تغيير طفيف في الجهد المائي للورقة (لا يصل إلى أقل من ٢٨ ميجاباسكال) كما في اللوبيا إلى حدوث تغيير كبير يصل إلى أقل من ٥٨ ميجاباسكال كما في الدخن (Petric and Hall, 1992) والذرة الرفيعة ومجموعة ثالثة يتبعها القليل من الأنواع وفيها ينخفض الجهد المائي للورقة بشدة ليصل إلى ٩٨ ميجاباسكال، ويمكن لهذه المجموعة الاحتفاظ بمحتوى نسبي من الماء عند ضغط أسموزي مرتفع ونقص جهد العصير الخلوي. ويسعى مربو المحاصيل لإنتاج أصناف من القمح والذرة الرفيعة مرتفعة في مقاومتها للجفاف بالانتخاب لزيادة التحكم في أسموزية الأوراق.

٢- الاستجابة للتغذية الأمامية (الاستجابة الإستباقية):

لقد تزايدت الشواهد التي تبين إحساس الجذور بالظروف الصعبة التي تواجه النبات بالتربة مما يعمل على إمداد النبات مقدماً بالتحذيرات لحدوث التغيير الذي يقي النبات من هذه الظروف، حيث ترسل الجذور إشارات للأفرع تؤدي إلى الغلق الجزئي للثغور وإبطاء نمو وتمدد الأوراق (Passioura and Stiraker, 1993) وتعرف هذه النظرية بالنظرية الأمامية أو الإستباقية وهي عكس نظرية التغذية الخلفية. وبذلك يتمكن النبات من تجنب الجفاف الشديد. وتكون استجابة المحصول قوية للغاية وملائمة بدرجة كبيرة لبقاء المحصول والحفاظ على إنتاجيته في أكثر البيئات المستهدفة.

٣- تحمل فقد الماء:

يشير هذا المصطلح لقدرة النبات على الحفاظ على وظائفه عند تعرضه للنقص النسبي في محتواه من الرطوبة. وتتميز بعض النباتات بقدرة أوراقها على تحمل

فقد الماء ويذكر بعض الباحثين أن هناك صعوبة فى تفسير ذلك، ونظراً لأن بداية أو إيقاف العمليات المختلفة الدائرة بالنبات تتطلب وجود محتوى نسبى حرج للرطوبة إلا أنه وجد أن الكتلة الحية للخلية (Symplast) للنباتات الراقية لا تستجيب أو تضار بفقد الماء مباشرة بل يؤثر المحتوى النسبى للماء على الحجم وبالتالي التغيرات الحادثة فى الحجم مما ينشأ عنها تغيرات فى ضغط انتفاخ الخلايا وليس مستوى فقد الماء. حيث وجد (Flower and Ludlow, 1986) أن محتوى الورقة النسبى من الماء ببسلة الطيور يبلغ فى العادة حوالى ٨٠% عندما يساوى ضغط انتفاخ الخلية صفراً ينقص ليصل إلى ٣٢% عند حدوث تدهور داخلى غير رجعى فى الجذر الخلوية يصحبه انخفاض فى ضغط الانتفاخ ليصبح قيمة سالبة. ولقد ذكر آخرون عند حدوث نقص يومية للماء بالأرض تصدر إشارات هرمونية من الجذر تؤدي إلى عدم تحرك الذائبات من الأوراق المسنة إلى الأوراق الصغيرة العمر مما يقلل من تركيز الذائبات بالأوراق الصغيرة فيقل ضغطها الأسمزى أى زيادة جهد المذيب مما يعمل على فقد الماء ويصبح ضغط الانتفاخ سالب وتتدهور الخلايا. ويعرف ذلك بعدم قدرة النبات على تدوير المغذيات (Hall, 1993) وفى البذور التى تجف عند النضج فإن التحمل لفقد الماء يعتبر هام للغاية حيث تتجمع مركبات مثل السكريات وبعض البروتينات التى تلعب دوراً فى تحمل فقد الماء.

٤ - كفاءة استعمال الماء:

يعبر عن كفاءة استعمال الماء بأنها النسبة بين المادة الجافة الكلية إلى عملية النتج. وتختلف الأنواع فى كفاءة استعمال الماء حيث نقل فى المحاصيل ثلاثية الكربون عن المحاصيل رباعية الكربون النامية فى البيئات الحارة فى المواسم الدافئة (حيث أن السبب هو إنتاج مادة جافة بواسطة النباتات ثلاثية الكربون بقدر أقل من المادة الجافة الناتجة فى اليوم عن النباتات الرباعية الكربون) مما هدى مربى المحصول لمحاولة تربية أصناف تابعة للمحاصيل الثلاثية الكربون مختلفة فى كفاءة استعمال الماء تكون أكثر مقاومة للجفاف (Hall et al, 1994; Condon and Hall, 1997).

التحمل للجفاف ومقاومة الجفاف

ينبغي التمييز بين تحمل المحصول للجفاف Drought adaptation ومقاومة الجفاف Drought resistance حيث يعتمد التحمل للجفاف على التأثيرات الإضافية للهروب من الجفاف بالإضافة إلى مقاومة الجفاف. على حين أن مقاومة الجفاف لا تعتمد على التأثيرات الإضافية وقد تسلك النباتات ذات الآليات المختلفة مسلكاً متساوياً في التحمل لظروف البيئات الجافة ونصف الجافة. ومثال ذلك اكتساب أوراق النجيليات جهد مائى منخفض شديد السالبية بالتحكم في الأسبوزية لتجنب فقد الماء بالتعرض لجفاف الأرض مما يؤدي إلى فتح الثغور جزئياً واستمرار عملية التمثيل الضوئى والحفاظ على جهد مائى منخفض للورقة وبذلك يتسنى للجذور الحصول على الماء من الأرض. وفي بعض المحاصيل البقولية الدائمة تحت نفس الظروف فإنها تتجنب فقد الماء بالإغلاق الجزئى للثغور وبحركة الأوراق العاكسة للضوء مما يقلل النتج مما يؤدي لنقص طفيف لجهد الورقة المائى بجفاف الأرض. وينبغي التنويه هنا إلى أن الجهد المائى عادة ما يكون أقل من الصفر في النظم الطبيعية ويكون أقل أى ذو قيمة أكثر سالبية في النبات عن الأرض ويكون أقل تحت ظروف الجفاف كما يقل في النهار عن الليل.

علاقة إجهاد الجفاف بمضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية

إن استجابة المحاصيل لإجهاد الجفاف يختلف معنوياً تبعاً لعدة مستويات تعتمد على كثافة وفترة الإجهاد ونوع ومرحلة نمو المحصول (Chaves et al, 2003) لذلك فقد درس العديد من الباحثين أثر إجهاد الجفاف على العديد من المحاصيل.

ولقد وجد أنه هناك علاقة بين إجهاد الجفاف ومضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية لذلك كان من الضروري التحدث عن لمحة بسيطة عن كيفية نشأة مضادات الأكسدة والإجهاد التأكسدي.

ينشأ الإجهاد التأكسدي نتيجة الظروف التي تشجع تكوين أنواع نشطة من الأكسجين الأحادي، يذ، أيون السوبر أوكسيد وثنى الهيدروكسيد الحر خلال تفاعلات أكسدة واختزال معينة. تتولد تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) Reactive oxygen species في

خلايا النبات أثناء عمليات البناء الطبيعي ويعتبر إنتاج نظام الإلكترون عمليّة التمثيل الضوئي المصدر الأكبر للأكسجين النشط وتكون له القدرة على توليد الأكسجين المفرد والسوبر أوكسيد ولا يمكن الحد من إنتاجه حيث لا يمكن تجنب تسلسل عملية انتقال الإلكترون في عملية التمثيل الضوئي إلى الجو المحيط. إن أكبر عمليات استهلاك الأكسجين تتحصر في بادئ تفاعل مسار التنفس الضوئي والتفاعل المباشر لجزئ الأكسجين في النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) القادر على تحويل جزئ الأكسجين إلى أكسجين مفرد ذو طاقة مرتفعة. وهناك بعض الأنظمة التي تنافس الإلكترون المنقل في عملية التمثيل بالكلوروبلاست مما يعمل على تقليل جزئ الأكسجين. ويحدد مقدار الضرر الواقع على النبات بعملية تنظيم الاتزان بين الأكسدة ومضادات الأكسدة تحت الظروف الطبيعية (عدم الإجهاد). حيث أن مضادات الأكسدة تمد النبات بحماية كافية ضد الأكسجين النشط و الشقائق الحرة. وأثناء عملية التمثيل الضوئي ينتج جزئ أكسجين من أكسدة الماء الذي يستعمل فيما بعد كمستقبل للإلكترون، هذا الجزئ (الأكسجين المستخدم في عملية التنفس الضوئي) بدوره ينتج فوسفو جليكولات. هذين التفاعلين لهما آثار سلبية وآثار إيجابية حيث ينتقل الإلكترون إلى الأكسجين لينتج سوبر أوكسيد والذي يكون غير متوافقا مع عملية البناء لذلك فعلى مضادات الأكسدة التخلص منه، على حين أن مركب الفوسفوجلوكولات يعاد تدويره إلى فوسفوجلوسيرات للدخول مرة أخرى في دائرة تفاعل كلفن ليؤدي إلى فقد الكربون الممثل في نفس الوقت - فإن كميات كبيرة من فوق أوكسيد الهيدروجين (H₂O₂) تنتج أثناء أكسدة الجليكولات في البيروكسيموم وربما عن تلف الكثير منه بواسطة إنزيم الكاتالاز إلا أن عملية decarboxylation للأحماض الكيتونية تستمر بواسطة. ومع وجود العديد من فوائد عملية التمثيل الضوئي إلا أن التنفس الضوئي يحمي غشاء التمثيل الضوئي ضد أضرار الضوء الساقط عندما يكون تمثيل الكربون محدود. وربما تعتبر هذه النقطة الوظيفة الرئيسية الهامة في الحماية ضد نقص الإضاءة مقارنة بانتقال الإلكترون إلى الأكسجين.

تعتبر استجابة المحاصيل للجفاف ظاهرة معقدة يبدو أنها تتضمن العديد من المجموعات الجديدة الممثلة مثل البروتينات والأمينات المتعددة غير معروفة الوظيفة. ويعتبر حمض الأبسيسك ذو دور أساسي في استجابة المحاصيل للجفاف حيث بحث

غلق الخلايا الحارسة التي تعمل على تقليل فقد الماء وأيضا تقليل ثاني أكسيد الكربون القابل للاستفادة في عملية التمثيل الضوئي الذي يؤدي إلى تكوين تفاعل أنواع أكسجين فائق التوجه الإلكتروني في عملية التمثيل الضوئي، هذه الميكانيكية تعمل على نقص إجهاد الأكسدة والذي بدوره يؤدي إلى تحمل الجفاف.

يؤثر محتوى الماء الأرضي تأثيرا كبيرا على المحتوى الكيماوي للخلايا حيث وجد (Sairam and Saxena, 2000) نقص في محتوى الكلوروفيل عند تعرض محصول القمح للإجهاد الجفافى لكل الأصناف المختبرة. ولقد وجد أن نقص الماء بالأرض يؤدي إلى زيادة النسبة المئوية لتسرب إليكترولينات أوراق النبات ويتوقف ذلك على أنواع وأصناف المحاصيل ففي حالة الأصناف المتحملة للجفاف يقل تسرب الإليكترولينات مقارنة بالأصناف الأقل تحملا أو الحساسة للجفاف كما هو الحال في صنف القمح سخا ٩٣ (المتحمل للجفاف) مقارنة بصنف جيزة ١٦٨ (عبدالقادر وآخرون ٢٠١٠) Abd El-kader et al 2010 كذلك وجد أن الصنف جيزة ١٦٨ تتميز أوراقه بقلة تسرب الإليكترولينات بالنسبة لصنف سخا ٩٣ تحت ظروف توافر الرطوبة الأرضية وهذه النتائج تتوافق مع ما حصل عليه (Sihet and Birol 2007). ويعتبر التسرب الإليكتروليني مؤشر مهم على الوظائف الفسيولوجية للخلايا حين التعرض للجفاف والملوحة وكل من الحرارة المنخفضة أو المرتفعة والتي تؤثر بالضرر على محتويات الخلايا. وعموما يحمي الغشاء البلازمي نفسه من أضرار الجفاف بتوفير محاليل مثل السكريات والأحماض الأمينية التي تعمل على تنظيم الأسموزية مما يعمل على حماية الغشاء البلازمي (Liley and Ludlow 1996). ويمكن القول أن استمرارية الغشاء الخلوي في الحفاظ على تكامله ووظائفه تحت مستويات إجهاد الجفاف تستخدم كمقياس لتحمل المحصول للجفاف. حيث ذكر (Sairam and Saxena 2000) أن جهد الأكسدة الذي يضر ببناء الخلية تحت الإجهاد المائي يؤدي إلى زيادة محتواها من ليبيدات البيروكسيدز التي تتراكم بكميات كبيرة في أنواع المحاصيل النشطة للأكسجين (AOS) activated oxygen species مما ينتج عنها تلف كبير لغشاء الخلية. كما ويلعب التعرض للجفاف دورا في زيادة محتوى مالنون داي الدهيد (MDA) الذي يعتبر مقياس للبيدات البيروكسيدز. وعلى ذلك فإن انخفاض (MDA) تعني قدرة مرتفعة لمقاومة كبيرة للجفاف وهذا يكون مرتبط بقدرة مرتفعة لوجود مضادات

الأكسدة (Zhao et al, 2005; Saneoka et al, 2004). وتزيد فينولات الأوراق النامية تحت ظروف إجهاد الجفاف (Lason and Hester, 1993). تعتبر الشقائق الحرة Free Radicals وغيرها من المشتقات النشطة من الأكسجين ناتجات حتمية ثانوية لتفاعلات الأكسدة والإختزال (Redox) البيولوجية، حيث تثبط تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) الإنزيمات كما تتلف أهم مكونات الخلية وتعتبر زيادة إنتاج مشتقات الأكسجين السامة مظهرا شائعا لظروف الإجهاد وتتميز المحاصيل وغيرها من الكائنات بوجود ميكانيكية ذات مدى واسع لمواجهة هذه المشكلة حيث تتضمن المحاصيل نظام دفاعى يتميز بوجود جزيئات مختلفة من مضادات الأكسدة والإنزيمات مثل إنزيمات سوپر أوكسيد ديسميوتيز (SOD)، أسكوريات بيروكسيديز (APX)، بيروكسيديز (POD)، كاتاليز (CAT) ومن الأفعال التى تؤثر بالسلب على أغشية الخلايا وجود الشقائق الحرة التى تحت تكوين بيروكسيد الليبيدات والأحماض الدهنية غير الأستيرية وكذلك تمثيل الإثيلين حيث يبدو أن تدهور غشاء الخلية له علاقة بانطلاق الشقائق الحرة رغما عن عدم فهم كيفية إنتاجه حتى هذه اللحظة. ومن الواضح أن كفاءة ونشاط نظام مضادات الأكسدة مهم فى الحد من التلف الناشئ عن الأكسدة وإتلاف الأكسجين النشط الذى ينتج بكميات أكبر من حاجة عمليات البناء الطبيعى. يعتبر دليل Indicator إنزيم البيروكسيديز خط الدفاع الأول ضد تفاعل أنواع الأكسجين كما يتخير نشاطه وكميته كدليل لحالة تفاعل الأكسدة والإختزال تحت الظروف المختلفة لإجهادات الجفاف (Moran et al, 1994; Schwanz and Polle, 2001). ويختلف نشاط هذا الإنزيم تحت ظروف إجهاد الجفاف تبعا لمقاومة أصناف القمح للجفاف ودرجة الإجهاد (Ge et al, 2006). ويعتبر بيروكسيديز أسكوريات مسؤولا عن عدم سمية أكسيد الأيدروجين فى الأوراق الخضراء (Chaudiere and Ferrari-Iliou, 1999). يزيد تركيز فينولات أوراق النبات النامي تحت ظروف الإجهاد (Lason and Hester 1993). ويلعب محتوى البرولين دورا فى أنسجة النباتات التى تتعرض للجفاف وعلى الأخص الأوراق نتيجة لتكسير البروتين باستمرار نقص تمثيل البروتين ويعتبر تجمع البرولين مفيد فى الأنسجة كمؤشر على أضرار الجفاف وليس كدوره فى ميكانيكية مقاومة الإجهاد (Zlatev and Stoyanov, 2005)

قائمة المراجع

- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (a). *Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ.* 38 (1), 161- 172.
- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (b). *Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ.* , 38 (1) :183-192.
- Abdel kader , M.A.; Noureldin Nemat A.; M.F. Hamed and Luka Bechini 2010 *Arab Univ. J. of Agric. Sci., Cairo , Egypt.* (18) : 2 p : 273-282
- Ahmad, A.1999. In: C Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropland Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Ali,Q., Ashraf, M., Shahbaz, M. and Hunera, H. 2008. *Pakistan, J. Bot.*, 40:1,211-219.
- Anac, M. S., Ali UJ, M., Tuzel, I. H., Anac, D., Okur, B. and Hakerlerler, H. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropland Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Bastug, R. 1987. A study on Determining the Water Production Function of Cotton under Cukurova Conditions (Ph. D. Thesis Turkish) Adana, Turkey, Cukurova University, Faculty of Agriculture.
- Bazzaz, M. and Tayaa, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropland Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Bolanos, J. and Edmeades, G. O. 1996. *Field Crops Res.*, 48:65-80.
- Boyle, M.G., Boyer, J.S. and Morgan, P.W.1991. *Crop Sci.*, 31:1246-1252.
- Calvache, M. and Reichardt, K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropland Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Chaudhrie, J. and Fernari-Iliou, R.1999. *Food Chem. Toxicol.*, 37:949-962.
- Chaves, M. M., Maroco, J.P. and Pereira, J. 2003. *Funct. Plant Biol.* , 30:239-264.
- Condon, A.H. and Hall, A.E. 1997. Adaptation to Diverse Environments: Variation in Water Use Efficiency Within Crop Species. pp. 79- 116. In L. E. Jackson (ed) *Ecology in Agriculture*, Academic Press, San Diego, California.
- Craciun, L. and Craciun, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropland Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- CROPWAT Programme (Version 4.2), FAO-Pennan-Monteith method .1998.

- Eck , H.V., Mathers , A.C. and Musick, J.T. 1987. Field Crops Res. , 17:1-16
- English, M.J., Musick, J. T. and Murty, V. V. 1990 Deficit Irrigation .In G. J. Hoffman, T. A. Towell and K. H. Solomon, eds Management of Farm Irrigation Systems, St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- FAO. 1979 .Yield Response to Water by J. Doorenbos and A. H. Kassam. Irrigation and Drainage Paper No. 33 FAO, Rome.
- Flower, D. J. and Ludlow M. M. 1986 . Plant Cell Environ., 9:33-40.
- Ge, T. D. , SUi , G. , Bai , L.P. , Lu, Y. Y. and Zhou,G.S.2006 . Sci. Agric. 3:291-298
- Gwathmey, C.O. and Hall A.E. 1992. Crop Sci. , 32:773-778.
- Habib, E. S., El n Habbal, M.S., Neureldin Nemat A. And Mechamer, K. I. 2010. Res. Bull. No. 43, Fac. Agric. Ain Shams Univ. Cairo, Egypt
- Hall, A. J. F. Vilella , N. Frapani. N. and Clementi, C. 1982 Field Crops Res. , 5 :349-363.
- Hall, A. E. 1993. Current Topics in Plant Physiology, Vol. 10, American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA
- Hall A. E., Richards R.A., Condon A.G., Wright G.C. and Farquhar G. D. 1994. Breeding Rev. 12:81-113.
- Herrero, M. P. and Johnson R. R. 1987 . Crop Sci., 21:105-110.
- Iqbal, M. M. Saha, S. M., Mohhamad, W. and Nawaz, H. 1999 . In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- Jana, P.K., Misra, B. and Kar, P.K. 1982 Indian Agriculturist, 26:39-42.
- Kang, S., Shi, W. and Zhang, J. 2000 Field Crops Res. , 67:207-214.
- Karata, H. 1991 Koy Hizmetleri Arastirma East. Kirklareli, Turkey (Turkish) .Report No.24 (Ph D Thesis)
- Kirda, C., Kanber, R. and Tulucu, K. 1999a. In: C. Kirda, P.Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Kirda, C., 1999 b. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- Kirda, C. and Kanber, R. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Korte, L. L., Williams, J. H. and Sorensen, R.C.1983. Crop Sci., 23:521-527.

- Kovacs, T. Kovacs, G. and Szito, J. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Lason, G.R. and Hester, A.J. 1993. J. Ecol. 81:75-80.
- Lilley, J.M. and Ludlow, M. M. 1996. Field Crop Res. , 48:185-197.
- Madanoglu, K. 1977. Publications No 52. Ankara. Ankara Central Topraksu Research Institute p 67.
- Moran, J. F., Becana, M., Iturbe - Ormaetxe, I., Frechilla, S., Klucas, R. V. and Aparicio-Tejo, P. 1994. Planta. 194:346-352.
- Musick, J. I. and Dusek, D. A. 1980. Agron. J. 72:45-52.
- Oylukan, S. 1973. Eskisehir Bolge Topraksu Arastirma Eskisehir, Turkey.
- Passioura J. B. and Stirzaker R. J. 1993. In D. R. Buxton, etal. (eds) International Crop Science I, Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, pp 715-719.
- Pene, C.B.G. and Edr, G. K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Petrie, C. L. and Hall, A. E. 1992. Austral. J. Plant Physiol. 19: 577-589.
- Prieto, D. and Angueir, C. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Rawson, H. M. and Turner, N.C. 1983. Irrigation Science, 4: 167-175.
- Sairam, R. K. and Saxena, D. C. 2000. J. Agron. Crop Sci. , 184 (1) : 56-61.
- Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachangra, G. S. and Fujita, K. 2004. Environ. Exp. Bot. , 52:131-138.
- Schwanz, P. and Polle, A. 2001. J. Exper. Bot. , 52:133-143.
- Sibet, J. and Birol T. 2007. World J. Agric. Sci. , 3 (2):178-183.
- Speck, J. E., Elmore, R.W., Eisenhauer, D. E. and Klocke, N. W. 1989. Irrigation Science 10:99-111. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Stegman, E. C. 1982. Irrigation Science, 3:75-87.
- Stegman, E. C., Schatz, B.G. and Gardner, J. C. , 1990. Irrigation Science, 11:111-119.
- Stewart J. I., Cuenca, R. H., Pruitt, W. O., Hegan, R. M. and Tosso, J. 1977. W-67 California Contributing Project Report Davis, USA of California.
- Thomas, J. C., Brown, K. W. and Jordan, J. R. 1976. Agron. J., 68:706-708.

- Waheed R. A. Naqvi, H. H., Tahir, G. R. and Naqvi, S. H. M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Westgate, M.E. and Boter J.S. 1986. Crop Sci., 26:951-956.
- Winter, S. R. 1980. Agron. J. 1972:649-653.
- Zhao, L., Dong, X. P. and Shan, L. 2005. Acta Bot. Boreal - Occident Sin., 25: 413-418.
- Zlatev, Z. and Stoyanov, Z. 2005. J. Central Eur. Agric., 6 (1):5 ñ 14.